



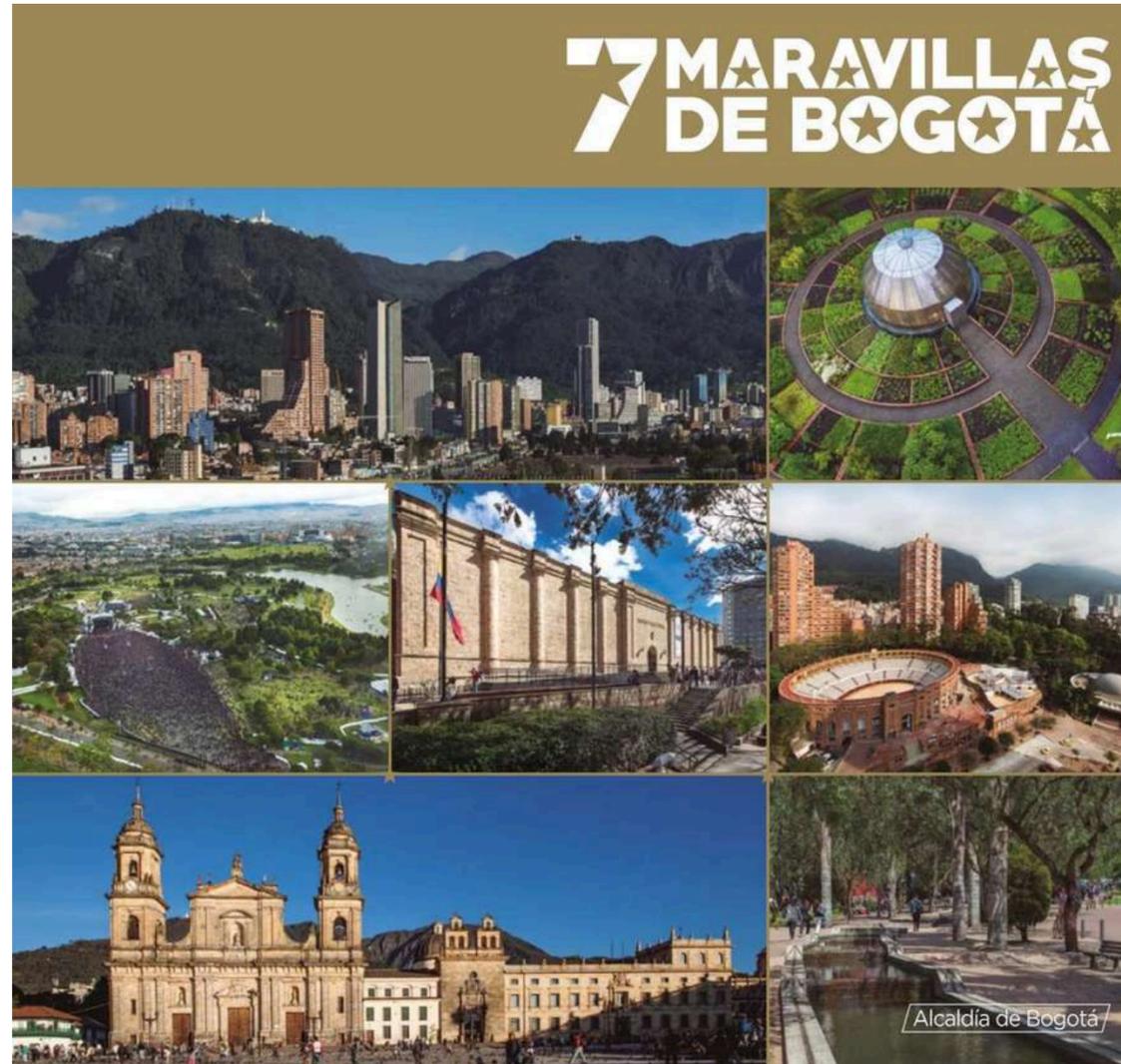
IV CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ESTUDIO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS, ENCAPSULACIÓN Y BIOACCESIBILIDAD DE CAROTENOIDES A PARTIR DE UN SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DEL TOMATE ORGÁNICO.

Juan Felipe Aldana Heredia, María Hernández Carrión, Andrea del Pilar Sánchez Camargo*
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - COLOMBIA

Organiza:





LAS 20 MEJORES UNIVERSIDADES DEL RANKING QS AMÉRICA LATINA 2023

2023	2022	Institución	Ubicación
1	1	Pontificia Universidad Católica de Chile (UC)	Chile
2	2	Universidade de São Paulo	Brasil
3	3	Universidad de Chile	Chile
4	4	Tecnológico de Monterrey	México
5	7	Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)	Brasil
6	5	Universidad de los Andes	Colombia

**Estudiantes de Pregrado y posgrado:
14.000**



Cancelar



Valorization Strategies for a By-Product of Organic Tomato Processing as Potential Ingredient in Functional Food Formulations

Yhonattan Nicolás López Bermúdez[†], Juan Felipe Aldana Heredia[†],
Andrea del Pilar Sánchez-Camargo and María Hernández-Carrión*

- **Fibra dietaria total:** 49,46 \times 0,057 %
- **Contenido de carotenoides totales:** 253.89 \times 19.39 mg de b-caroteno equivalente/100 g tomate seco



Juan Felipe Aldana



Yhonattan López

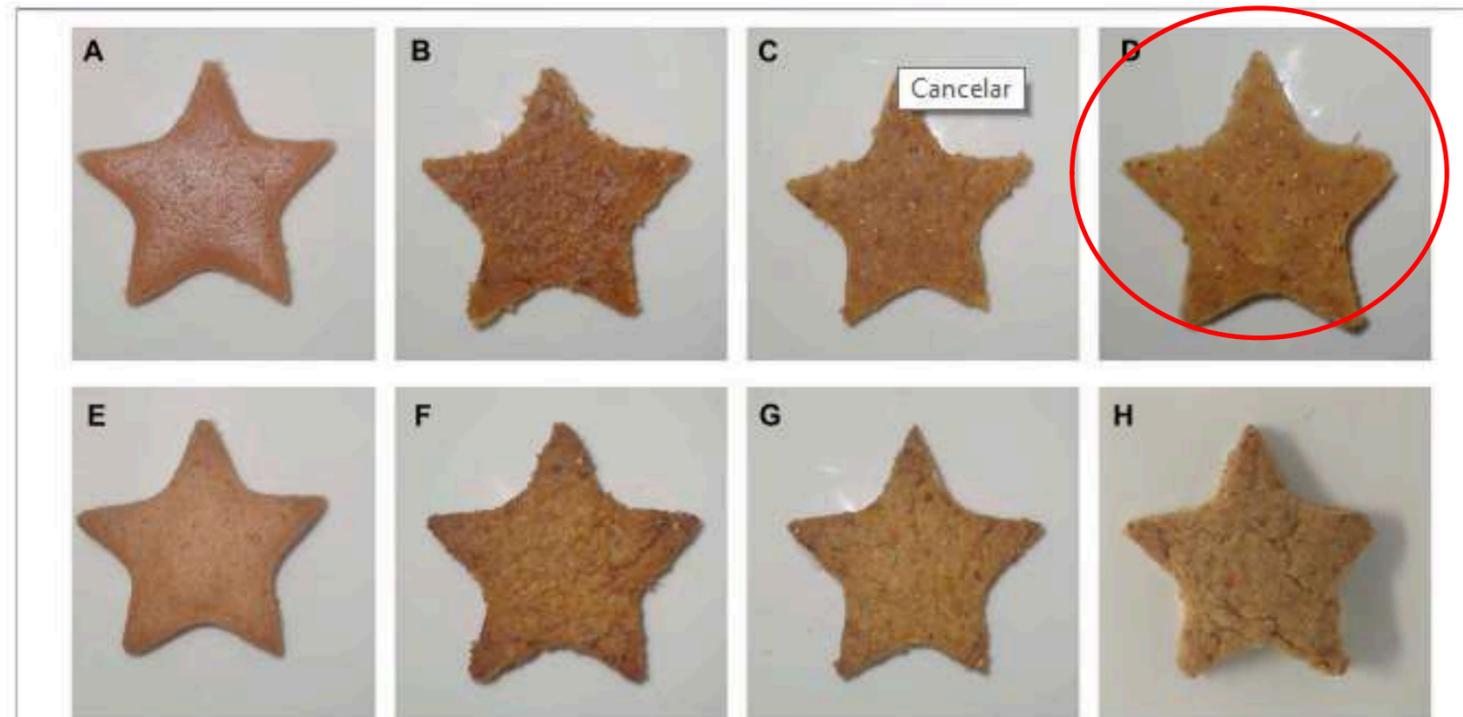
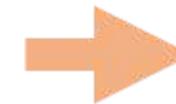


FIGURE 1 | Dough and baked cookies for different formulations. Control (A,E), 30% wheat flour replacement (B,F), 15% wheat flour and 15% unsalted butter replacement (C,G), and 30% unsalted butter replacement (D,H). Dough (A–D) and baked cookies (E–H).



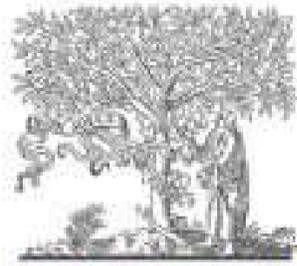
Nutrition Facts	
12 servings per container	
Serving size	1 3/4 oz (50 g)
Amount per serving	
Calories	190
Total Fat 7.43 g	11%
Saturated Fat 5.03 g	25%
Trans Fat 0	
Cholesterol 17.43 mg	6%
Sodium 161.3 mg	7%
Total Carbohydrate 28.38 g	9%
Dietary Fiber 2.52 g	10%
Total Sugars 11.5 g	
Includes 11.5 g Added Sugars	0%
Protein 2.65 g	
Vitamin B1 0.23 mg	15%
Vitamin B2 0.1 mg	6%
Calcium 16.4 mg	2%
Iron 1.4 mg	8%
Folic acid 0.23 mg	11%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2,000 calories a day is used for general nutrition advice.

Escala hedónica 7-puntos



"El grupo de consumidores tenía más probabilidades de comprar la galleta con un **30% de reemplazo de grasa** (por cáscara de tomate), y esta galleta tenía una mejor aceptabilidad general."



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Innovative Food Science and Emerging Technologies

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ifset



Microwave-assisted extraction, encapsulation, and bioaccessibility of carotenoids from organic tomato industry by-product

Juan Felipe Aldana-Heredia^a, María Hernández-Carrión^a, Juan David Gómez-Franco^b,
Carlos-Eduardo Narváez-Cuenca^b, Andrea del Pilar Sánchez-Camargo^{a,*}

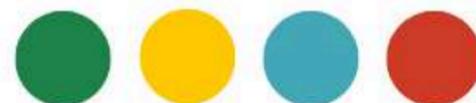
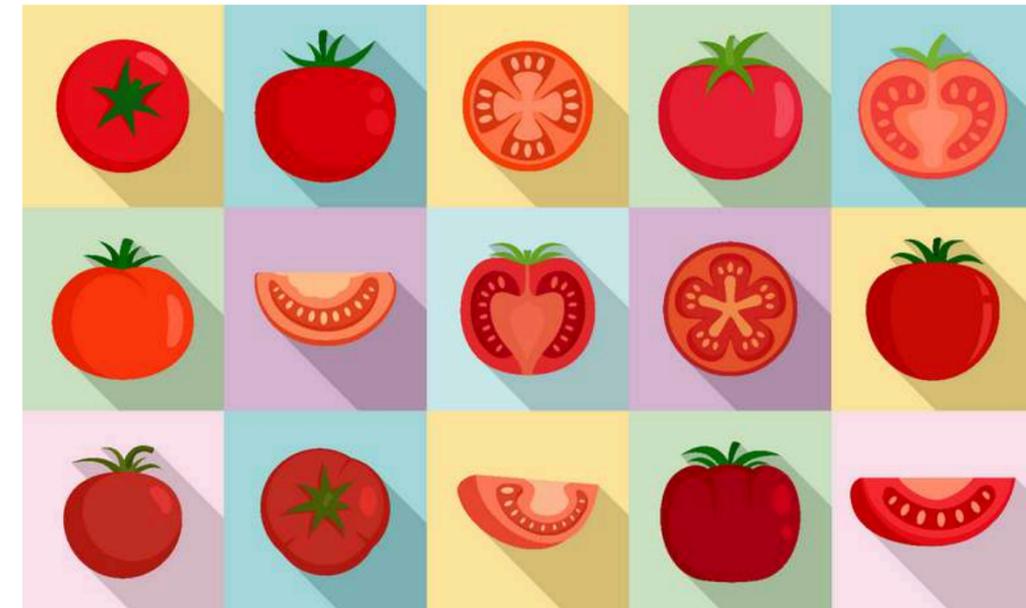
^a Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP). Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

^b Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Food Chemistry Research Group, Carrera 30 No 45-03, Bogotá D.C., Colombia



CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Estrategia de investigación
- 3 Metodología
- 4 Resultados y discusión
- 5 Conclusiones

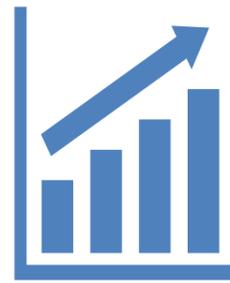


1. INTRODUCCIÓN

Producción

117 millones de toneladas (producción mundial).

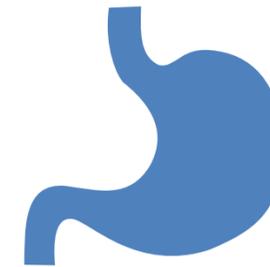
527 mil toneladas (Colombia) (2021) [1]



Desechos

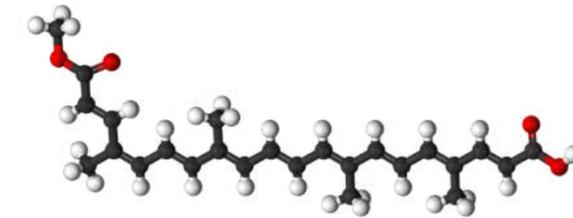
5% compuesto principalmente por cáscara y semillas [1]

Usados para compostaje o alimentación de animales



Importancia nutricional

Presencia de licopeno, potasio, ácido fólico [1]



Composición funcional

- Licopeno (salud cardiovascular y de piel)
- β -caroteno (precursor vitamina A)
- Fibra dietaria (salud cardiovascular y metabólica) [2]



1. INTRODUCCIÓN

- Rotación de dipolos y migración de iones en el medio WRITE TO US agitación del medio
- Altas temperaturas en tiempos cortos WRITE TO US se favorece la extracción (disolvente dieléctrico).



Figure 1. The effect of microwave flux on the plant cell during microwave assisted extraction.

Shashikant B. Bagade & Mayur Patil (2019): Recent Advances in Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Complex Herbal Samples: A Review, Critical Reviews in Analytical Chemistry, DOI: 10.1080/10408347.2019.1686966



1. INTRODUCCIÓN



Figure 2. Factors affecting microwave assisted extraction of herbal matrices.

Shashikant B. Bagade & Mayur Patil (2019): Recent Advances in Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Complex Herbal Samples: A Review, Critical Reviews in Analytical Chemistry, DOI: 10.1080/10408347.2019.1686966





2. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

1. Caracterizar el residuo de tomate
2. Optimizar la extracción de carotenoides a partir de un proceso asistido por microondas (MAE) y una metodología de superficie de respuesta (SRM)
3. Microencapsular y caracterizar el extracto de carotenoides usando 2 mezclas de materiales de pared
4. Medir la bioaccesibilidad de los carotenoides encapsulados por medio de una digestión *in vitro*



3. METODOLOGÍA

3.1 Preparación de las muestras

- Materia prima obtenida de Tomates Villa Santos S.A.S.
- Almacenamiento (- 86 °C)
- Liofilización (- 50 °C; 72 horas; 0.007 mBar).
- Reducción de tamaño de partícula (1 mm).
- Almacenamiento en papel aluminio (deseccador).

Productos a base de tomate

Proceso de escaldado

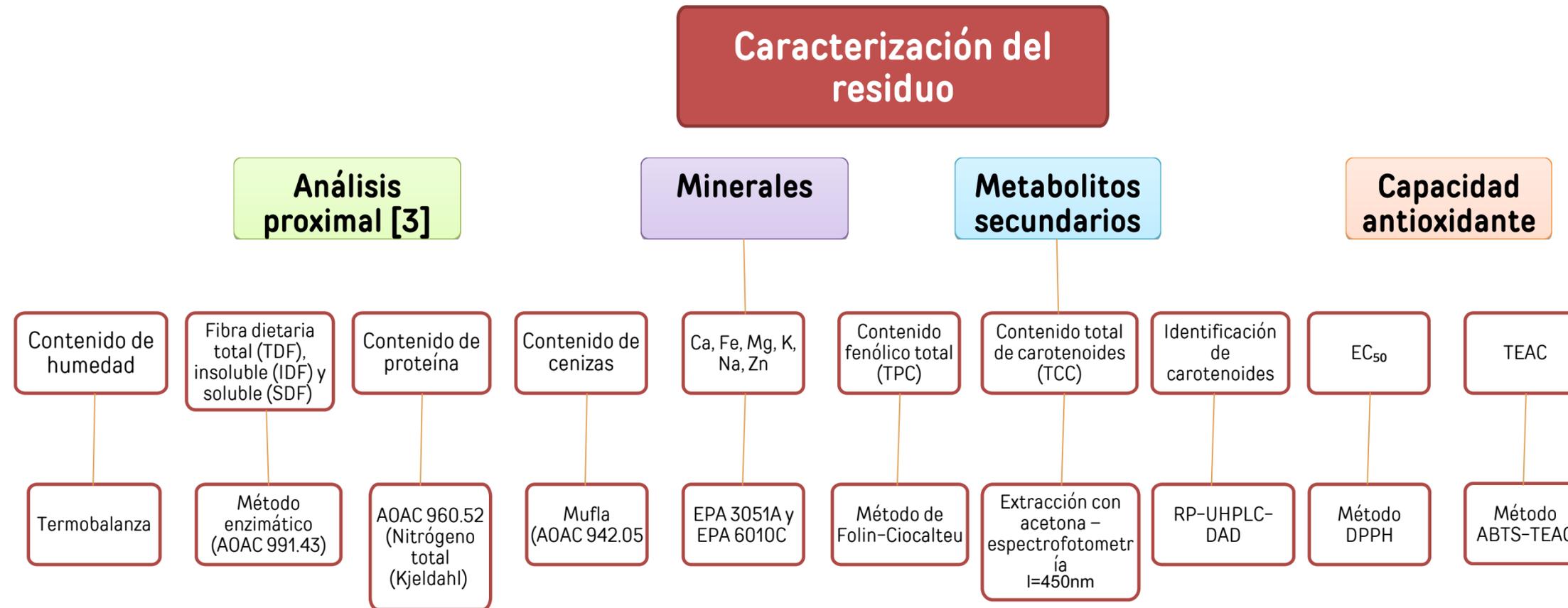




3. METODOLOGÍA



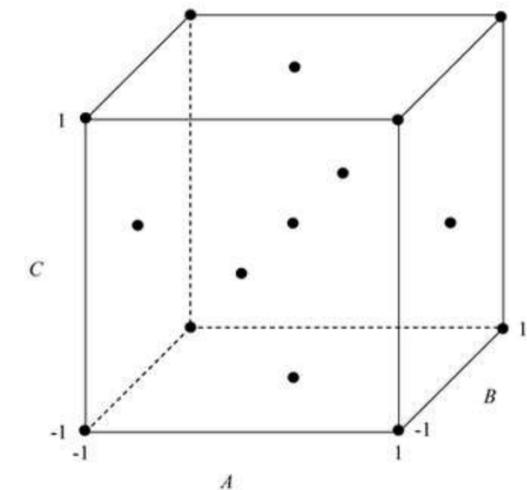
3.2 Caracterización del residuo



3. METODOLOGÍA

3.3 Extracción asistida por microondas (MAE)

- Metodología de superficie de respuesta – Diseño Box-Behnken
- 12 experimentos (por duplicado) con 5 réplicas del punto central
- Solvente usado: Mezcla acetato de etilo (EA) y etanol (ET)
- EA:ET 80:20 %v/v
- Cada corrida fue secada por medio de **rotoevaporación**

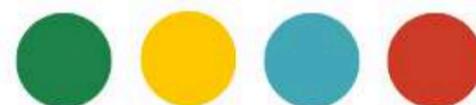


Factores	Niveles		
	-1	0	1
Relación biomasa solvente (BSR) [g:mL]	1:50	1:30	1:10
Tiempo de extracción (ET) [s]	60	90	120
Potencia de microondas (MP) [W]	100	200	300



Variables de respuesta
• Rendimiento de extracción (EY) [g extracto/100g muestra BS]
• Contenido de carotenoides extraído del residuo (CCTR) [mg β-caroteno eq/100g muestra BS]
• Concentración de carotenoides en el extracto (CCE) [mg β-caroteno eq/g extracto]

BS: Base seca



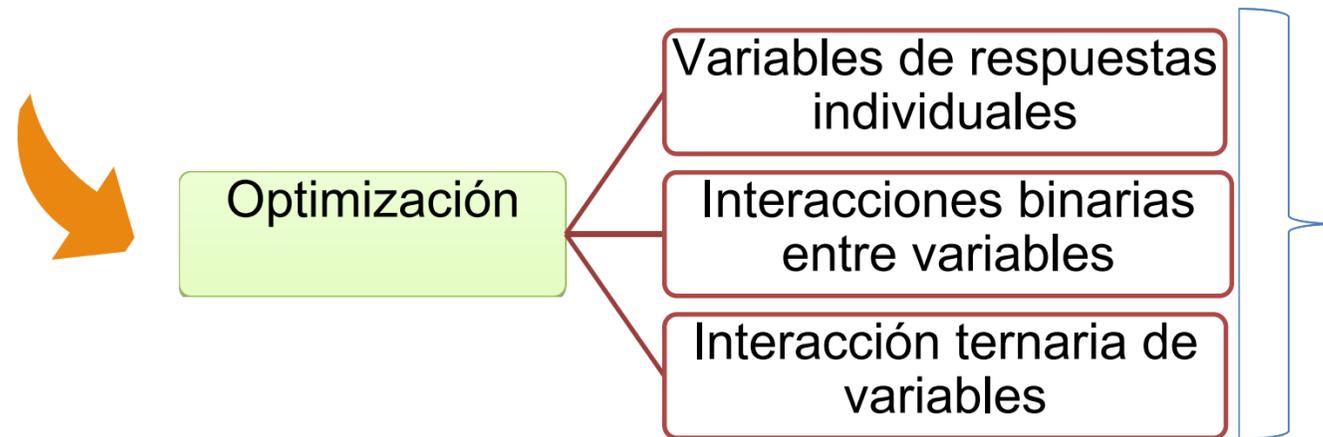


3. METODOLOGÍA



3.4 Análisis estadístico y optimización

- Se realizó mediante el software Minitab ®
- ANOVA con Intervalo de confianza del 95%
- La adecuación del modelo polinomial de 2^{do} orden se dio por medio del análisis del R² ajustado y se consideró la falta de ajuste



Extracción con condiciones óptimas y comparación teórico-práctica



3. METODOLOGÍA

3.5 Microencapsulación del extracto óptimo

Materiales de pared



Proteína de lactosuero (WP)



Goma arábica (GA)



Maltodextrina (MD)

Dos mezclas de material de pared:

- 1. 1:1 MD:GA %p/p
- 2. 1:1 MD:WP %p/p



Realización de una emulsión (O/W)

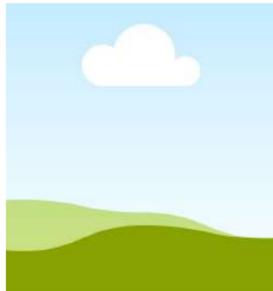


Fase acuosa (FA)

- Mezcla del material de pared (MMP)
- Agua
- MMP: Agua 2:3 %p/p
- Tween 20 (3%)

Fase oleosa (FO)

- Dilución del extracto óptimo en 50g de aceite de girasol
- Span 80 (3%)



Sellado por medio de liofilización

0.0007 mBar
-78°C
72 horas



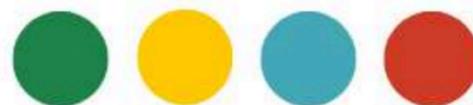
Prehomogeneización

- Dispermat
- 10 min, 5000 rpm
- Mantener a Ambiente por 3 horas



Homogenización

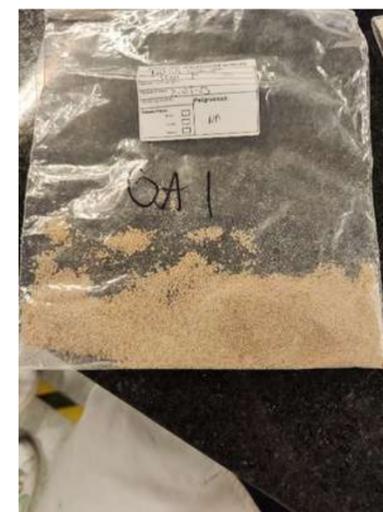
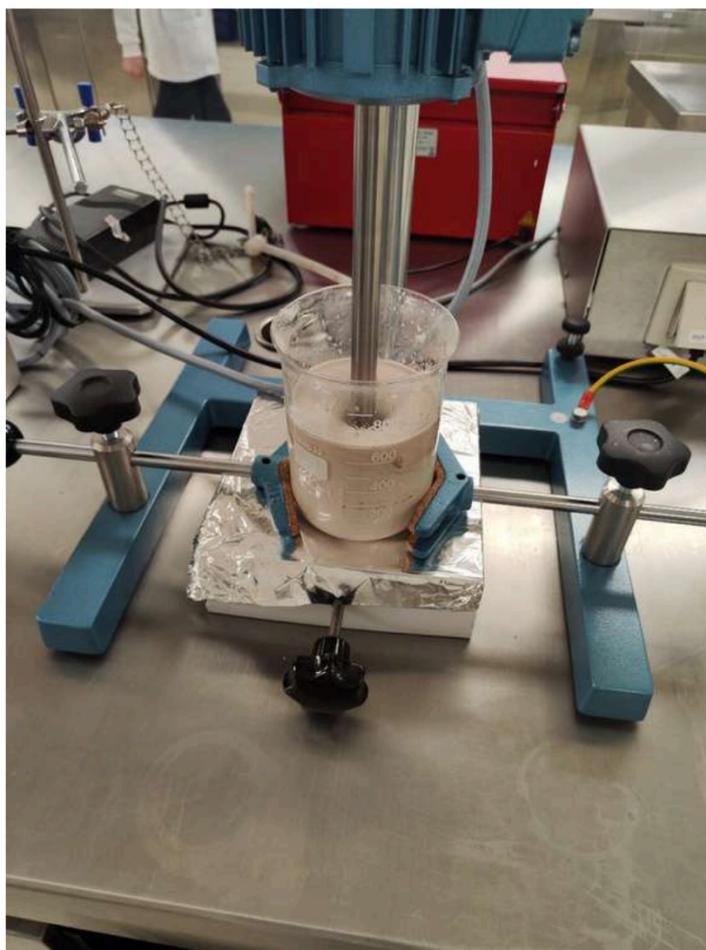
- Dispermat
- 10000 RPM, gota a gota de FO en FA
- 1:3 FO:FA %p/p





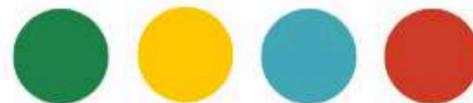
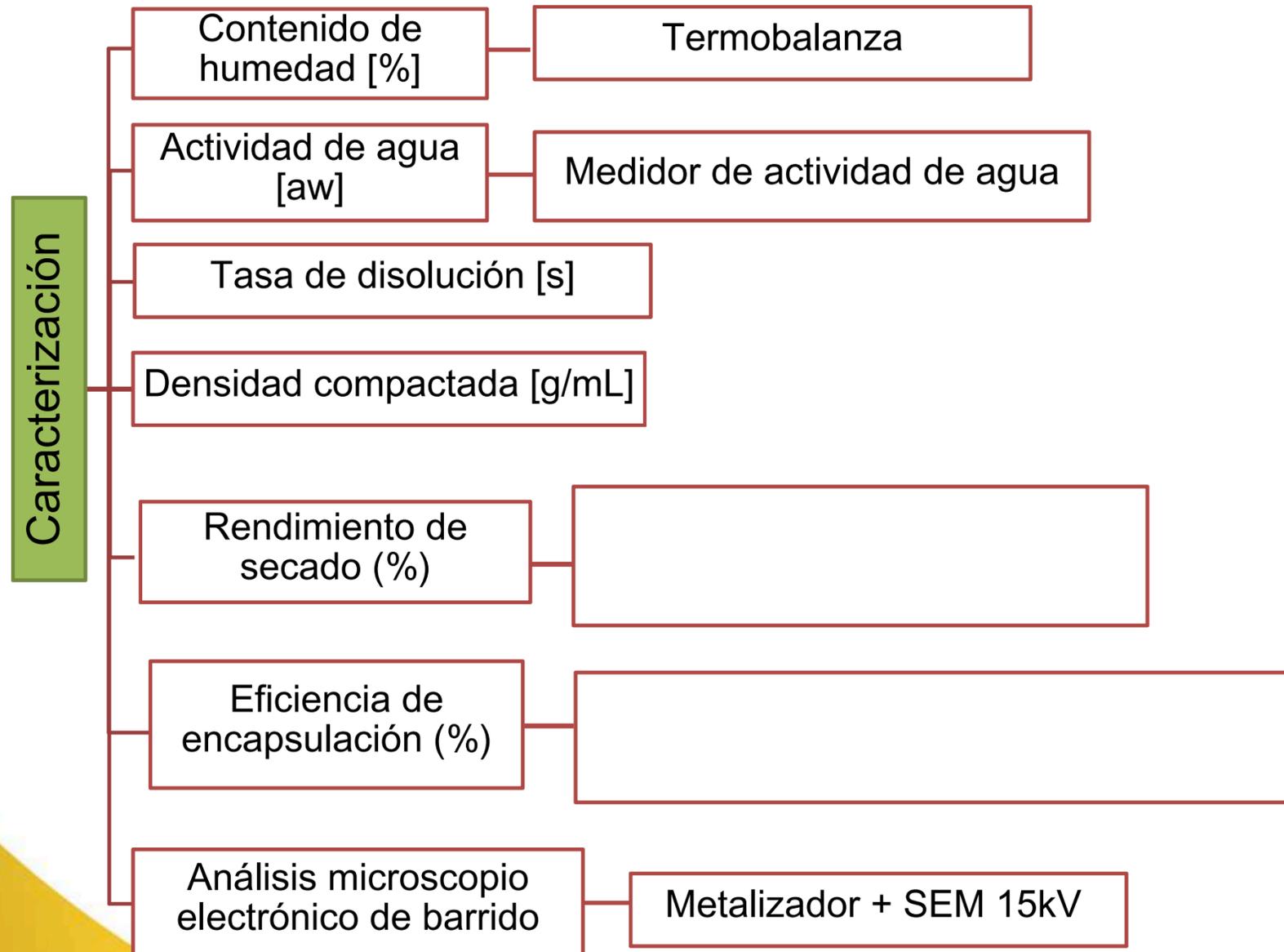
3. METODOLOGÍA

3.5 Microencapsulación del extracto óptimo



3. METODOLOGÍA

3.6 Caracterización de los encapsulados

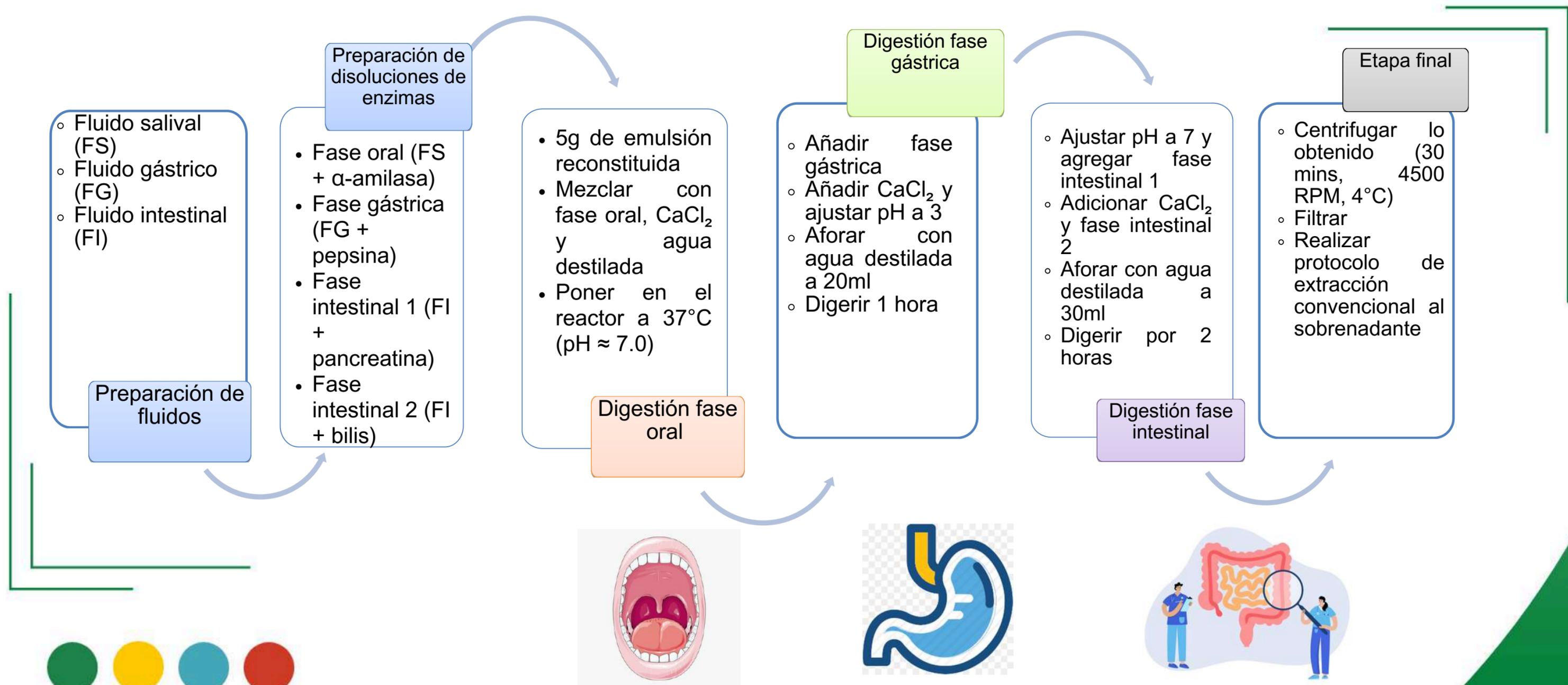




3. METODOLOGÍA



3.7 Estudio de la bioaccesibilidad de los encapsulados





4. RESULTADOS

4.1 Caracterización del residuo



Tabla 1. Caracterización de los residuos de tomate pretratados

Moisture	41.88 (0.034)
Protein	4.22 (0.010)
Capacidad Antioxidante	5.54 (0.420)



El valor de **FDT** e **FDI** se considera adecuado de acuerdo al pretratamiento térmico (rompimiento de enlaces glucosídicos)



Contenido de **potasio** alto en comparación con otros minerales.

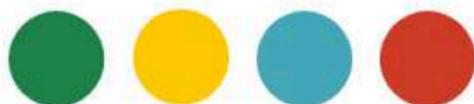


El valor de **TPC** es bajo debido posiblemente a degradación de fenoles por temperatura y al alto **IDF**



La **capacidad antioxidante** es muy baja debido al bajo **TPC** y **degradación de carotenoides**

Todos los valores entre paréntesis son desviaciones estándar
*DB: Base seca



4. RESULTADOS



4.1 Caracterización del residuo

Tabla 2. Identificación y cuantificación de carotenoides en los residuos de tomate pretratados

Pico	Identificación tentativa	
4.69	all trans-lutein*	166.0 (14.1)
5.16	all trans-taraxantine	30.1 (5.6)
5.79	Not identified	34.8 (12.7)
6.13	5-cis-lycopene-epoxide	84.5 (25.2)
9.25	5-cis-lycopene	1340.1 (15.6)
9.44	13,13-di-cis-lycopene	197.9 (11.9)
9.65	9,13-di-cis-lycopene	270.7 (29.4)
11.30	9-cis y caroteno	42.8 (2.8)
13.08	1,3-cis-β-carotene	86.9 (1.5)



Alta presencia de β-caroteno debido a degradación térmica de licopeno

*Identificado mediante un estándar auténtico. ** Los resultados presentados son el promedio de 4 repeticiones más o menos una desviación estándar que se muestra entre paréntesis.

4. RESULTADOS

4.2 Extracción Asistida por Microondas

Tabla 3. Resultados del diseño experimental que incluye los factores, niveles codificados y no codificados, y variables de respuesta

Ensayo						
	1:10 (1)	60 (-1)	200 (0)	4.39 (0.47)	231.18 (12.88)	53.07 (8.65)
	1:50 (-1)	60 (-1)	200 (0)	4.45 (0.31)	135.36 (5.05)	30.53 (3.24)
	1:10 (1)	120 (+1)	200 (0)	5.22 (0.02)	222.79 (7.57)	42.66 (1.28)
	1:50 (-1)	120 (+1)	200 (0)	14.75 (1.96)	170.18 (1.26)	11.64 (1.63)
	1:10 (1)	90 (0)	100 (-1)	4.74 (0.44)	188.68 (7.32)	40.03 (5.22)
	1:50 (-1)	90 (0)	100 (-1)	4.53 (0.45)	126.43 (7.58)	27.94 (1.09)
	1:10 (1)	90 (0)	300 (+1)	4.92 (0.27)	235.64 (0.50)	47.98 (2.49)
	1:50 (-1)	90 (0)	300 (+1)	16.30 (2.78)	175.54 (8.84)	10.86 (1.31)
	1:30 (0)	60 (-1)	100 (-1)	8.52 (0.95)	144.96 (2.27)	17.51 (1.73)
10	1:30 (0)	120 (+1)	100 (-1)	8.55 (1.64)	157.82 (3.79)	18.76 (3.16)
11	1:30 (0)	60 (-1)	300 (+1)	7.64 (1.56)	174.96 (6.82)	23.47 (5.69)
12	1:30 (0)	120 (+1)	300 (+1)	15.18 (0.57)	196.93 (6.06)	12.99 (0.88)
13	1:30 (0)	90 (0)	200 (0)	7.66	180.86	23.61
14	1:30 (0)	90 (0)	200 (0)	7.48	196.93	24.32
15	1:30 (0)	90 (0)	200 (0)	7.91	181.93	19.88
16	1:30 (0)	90 (0)	200 (0)	8.24	185.14	22.47
17	1:30 (0)	90 (0)	200 (0)	6.78	201.21	29.68
P0	1:10 (1)	60 (-1)	284 (0.81)	3.49	234.04	54.57
E0	1:10 (1)	60 (-1)	284 (0.81)	4.66 (0.12)	273.74 (3.65)	58.76 (1.45)

Etanol

Penetra matrices alimentarias ✓
Polaridad ↑

Acetato de etilo

Polaridad ↓

MAE provee calentamiento de componentes polares por rotación dipolar. ↑
Movimiento molecular = mayor EY

Exposición al calor por poco tiempo de los componentes no polares ↑

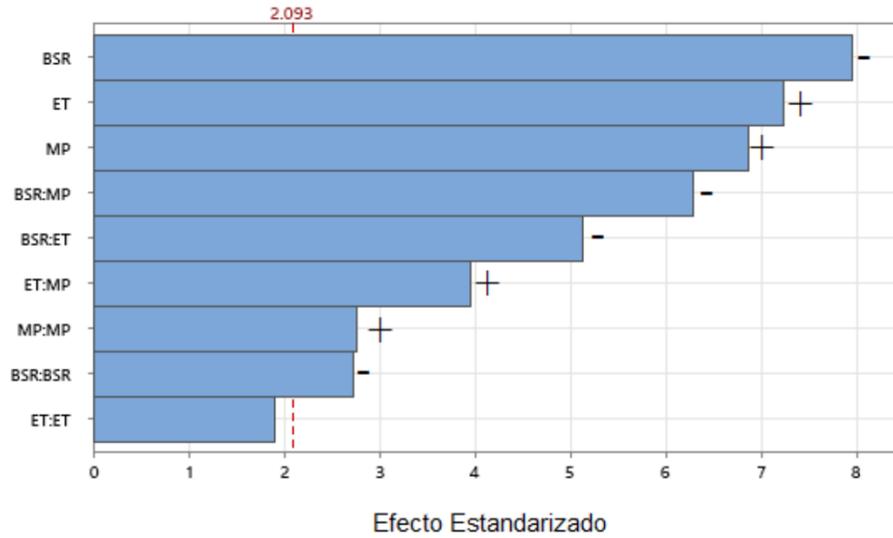
Migración de carotenoides hacia el solvente cuando BSR tiene niveles altos debido a cinéticas de extracción más rápidas ↑

4. RESULTADOS



4.2 Extracción Asistida por Microondas

Diagrama de pareto para efectos estandarizados
(Respuesta EY, $\alpha=0.05$)



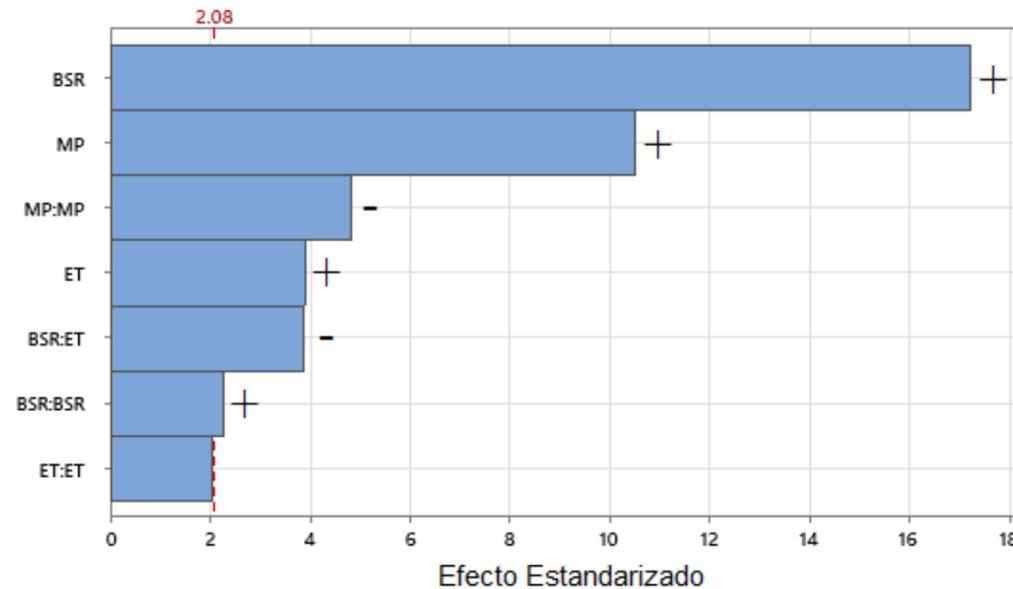
R^2 ajustado= 90.14%
Falta de ajuste (p-valor) = 0.044

↓ BSR ET y MP ↑ influencia
↑ ET MP ↑ influencia

↑ CCTR cuando ↑ BSR

R^2 ajustado= 94.32%
Falta de ajuste (p-valor) = 0.247

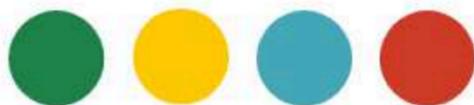
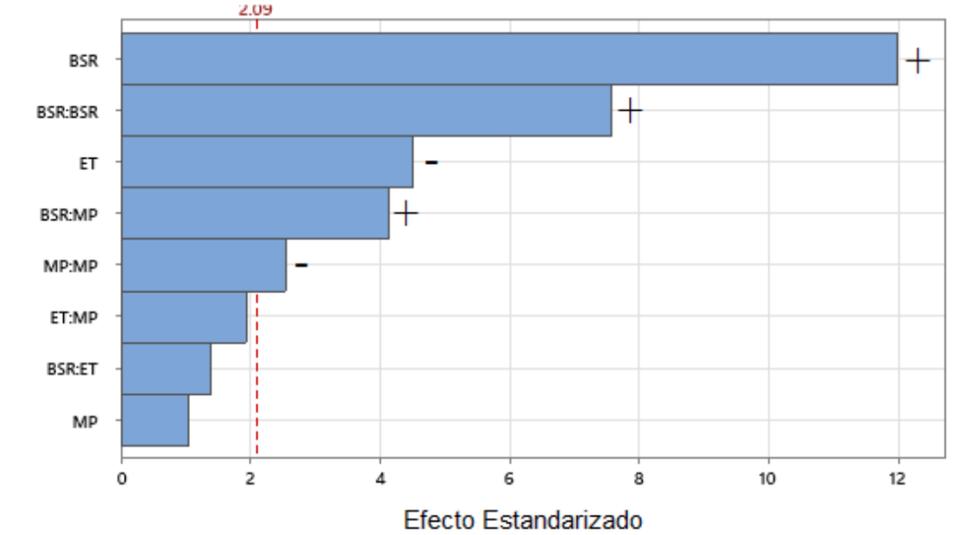
Diagrama de pareto para efectos estandarizados
(Respuesta CCTR, $\alpha=0.05$)



↑ BSR se ve influenciado por ↑ MP

R^2 ajustado= 89,90%
Falta de ajuste (p-valor) = 0,079

Diagrama de pareto para efectos estandarizados
(Respuesta CCE, $\alpha=0.05$)





4. RESULTADOS



4.2 Extracción Asistida por Microondas

Tabla 4. Valores optimizados de las variables de respuesta

Variable de respuesta	BSR (g:mL)	ET (s)	MP (W)	Deseabilidad
EY	0.6:30	120	300	1
CCTR	3:30	82.43	271.72	0.978
CCE	3:30	60	297.98	0.908
EY/CCTR	1.49:30	120	300	0.768
EY/CCE	2.68:30	120	300	0.428
CCTR/CCE	3:30	60	283.84	0.927
EY/CCTR/CCE	2.76:30	120	300	0.532



TCC = 319 mg eq β -caroteno/100g muestra BS (Acetona)

	BSR (g:mL)	ET (s)	MP (W)	EY (g extracto/ 100 g muestra BS)	CCTR (mg β -caroteno eq/100g muestra BS)	CCE (mg β -caroteno eq/g extracto)
Óptimo predicho	1:10 (1)	60 (-1)	284 (0.81)	3.49	234.04	54.57
Óptimo experimental	1:10 (1)	60 (-1)	284 (0.81)	4.66 (0.12)	273.74 (3.65)	58.76 (1.45)

Diferencia entre los valores de CCTR es alta (16.9% de error)

La recuperación de carotenoides con respecto al método de extracción convencional es de 85.81%



4. RESULTADOS

4.3 Caracterización de los encapsulados

Tabla 6. Caracterización de los extractos encapsulados

	MD:GA	MD:WP
	0.99 (0.04)A	0.80 (0.07) B
	0.087 (0.01)A	0.084 (0.01)A
	140.41 (6.41) A	86.49 (1.68) B
	0.48 (0.01) A	0.44 (0.01) B
	90.73 (3.34)A	89.73 (3.47)A
	68.12 (1.42)A	74.55 (1.62)B

Las medias que comparten la misma letra nos significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de t-student ($\alpha=0,05$)

Humedad < 4% y **aw** < 0.2 indicadores de baja humedad e idealidad para evitar “caking” y crecimiento microbiano

La **tasa de disolución** es menor con MD:WP debido a las moléculas de superficie hidrofílica en la WP

Alto **rendimiento de secado** en comparación con otras técnicas que usan calor para sellar encapsulación

Le **eficiencia de encapsulación** es mayor cuando se usa WP debido a su estructura estrecha.

La glicosilación (proteína + azúcar) mejora actividad emulsionante, dando cápsulas más estables





4. RESULTADOS

4.3 Caracterización de los encapsulados

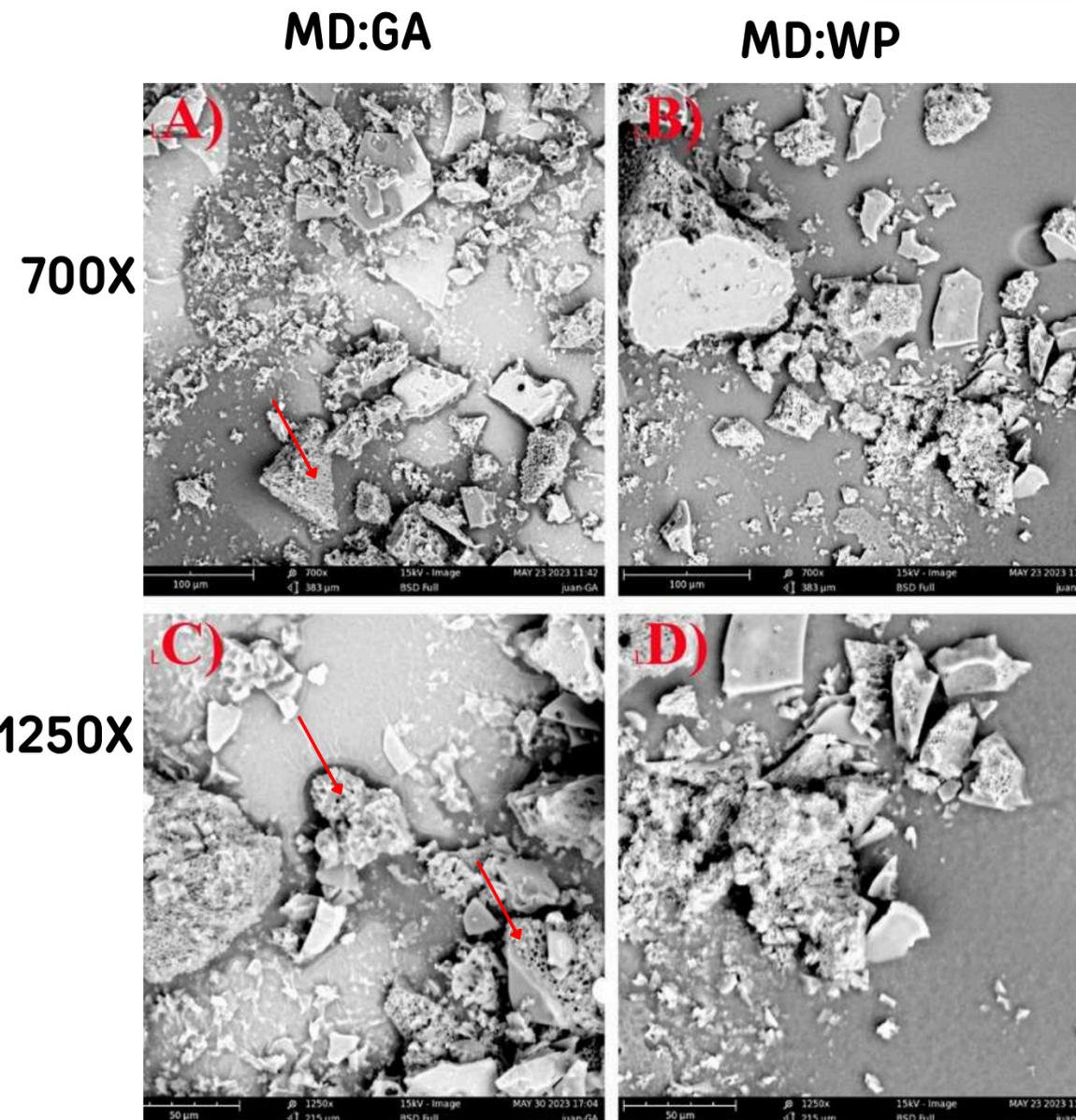


No hay una morfología definida

Formas **irregulares** y tipo esqueléticas

Presencia de **porosidad** en las superficies

Mayor porosidad en MD:GA, afectando eficiencia de encapsulación



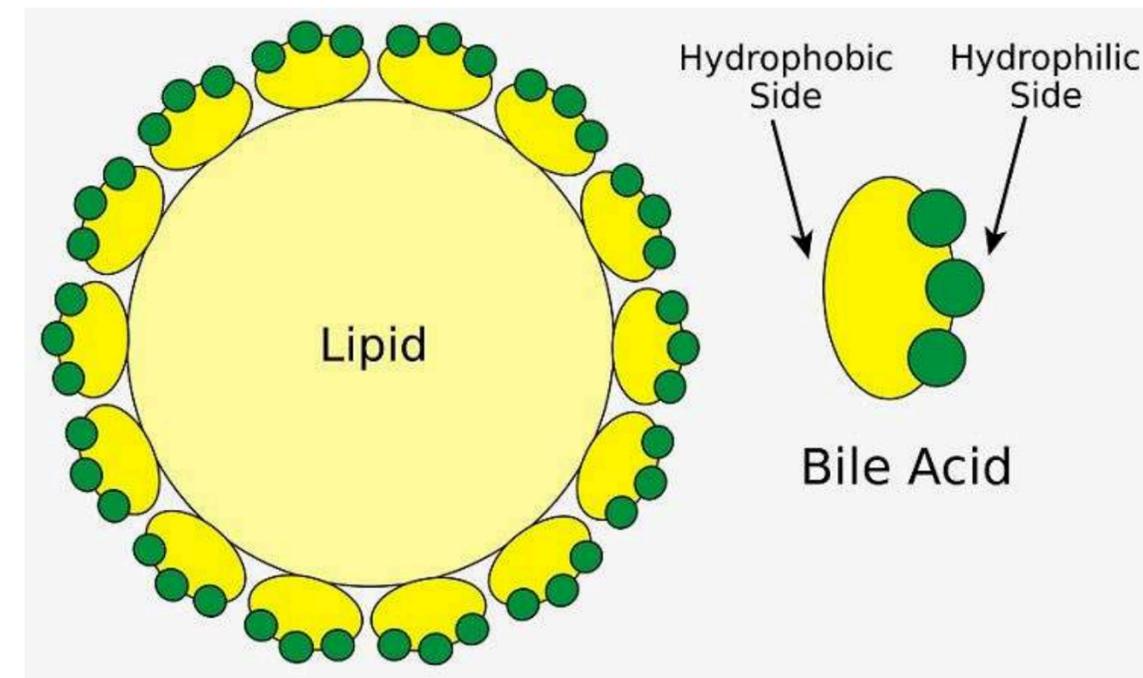


4. RESULTADOS

4.4 Bioaccesibilidad

- En la digestión, la mezcla de sales y ácidos biliares con grasas conlleva a la formación de **micelas**
- Mayor cantidad de micelas indica mayor solubilidad de carotenoides
- El valor de la bioaccesibilidad no se ve afectado por la MMP
- La saturación del aceite usado en la encapsulación afecta la formación micelar
- Relación con alta eficiencia de encapsulación
- La presencia de calcio en el **WP** puede afectar la sedimentación de ácidos grasos libres por lo cual disminuye la formación micelar -> numero de micelas

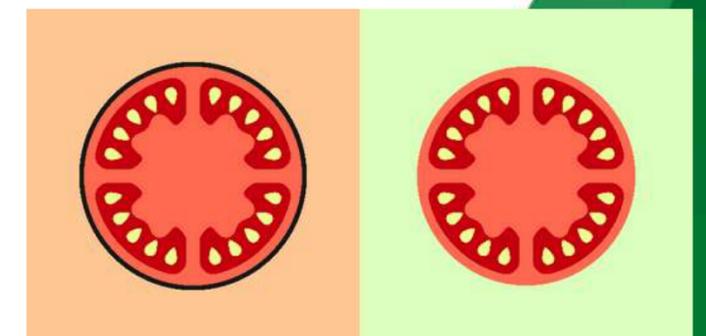
Propiedad/Mezcla de material de pared	Bioaccesibilidad (%)
MD:GA	27.68 (0.72)A
MD:WP	27.10 (0.04) A



5. CONCLUSIONES



- En cuanto a la **caracterización** se encontró alto contenido en fibra dietaria insoluble, potasio y carotenoides como β -carotenos y licopenos. El efecto del tratamiento térmico pudo afectar negativamente el TPC y la capacidad antioxidante
- La **extracción asistida por microondas** ofrece una alternativa prometedora debido a la alta recuperación de carotenoides, baja exposición de tiempo y baja necesidad de solvente (amigable con el ambiente)
- Se encontraron **factores y respuestas óptimas** dentro de la región experimental, no obstante se sugiere ampliarla al tener valores óptimos en los límites de la región
- Las **mezclas de materiales de pared (MD:GA y MD:WP)** demostraron ser aptas para la microencapsulación de carotenoides. Para algunas medidas el uso de **MD:WP** mostró mejores características



5. CONCLUSIONES



- Hay potencial de mejora en la **bioaccesibilidad** de ambos encapsulados sin embargo son valores que aseguran un aprovechamiento del residuo de tomate y de algunas otras industrias (WP)
- Este estudio se enfoca en los **residuos industriales**, buscando generar hallazgos significativos y aprovechar el potencial de biomasa para contribuir a los **objetivos de desarrollo sostenible**. La adopción de la **economía circular** es crucial para las industrias, y utilizar estos recursos inexplorados ayuda a implementar dicho concepto y promover la **salud pública**.



REFERENCIAS



- [1] FAO (2021). *No Title, Supply Utilization Accounts*. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/SCL>.
- [2] Alam, P., Raka, M. A., Khan, S., Sarker, J., Ahmed, N., Nath, P. D., Hasan, N., Mohib, M. M., Tisha, A., & Taher Sagor, M. A. (2019). A clinical review of the effectiveness of tomato (*Solanum lycopersicum*) against cardiovascular dysfunction and related metabolic syndrome. *Journal of Herbal Medicine*, 16, 100235. <https://doi.org/10.1016/J.HERMED.2018.09.006>
- [3] AOAC Official Methods of Analysis, “AOAC Official Method 991.43 Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Foods,” in *Cereal Foods*, 1995.
- [4] A. K. Biswas, J. Sahoo, and M. K. Chatli, “A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of β -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets,” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 44, no. 8, pp. 1809–1813, Oct. 2011, doi: 10.1016/J.LWT.2011.03.017.
- [5] A. L. S. Eh and S. G. Teoh, “Novel modified ultrasonication technique for the extraction of lycopene from tomatoes,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 19, no. 1, pp. 151–159, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2011.05.019.
- [6] K. Szabo et al., “Bioaccessibility of microencapsulated carotenoids, recovered from tomato processing industrial by-products, using in vitro digestion model,” 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112285.
- [7] R. Duran Barón, M. F. Valle-Vargas, G. Quintero-Gamero, M. X. Quintanilla-Carvajal, and J. Alean, “Encapsulation of citrulline extract from watermelon (*Citrullus lanatus*) by-product using spray drying,” *Powder Technol.*, vol. 385, pp. 455–465, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.POWTEC.2021.03.014.
- [8] N. Li, Z. Feng, Y. Niu, and L. L. Yu, “Structural, rheological and functional properties of modified soluble dietary fiber from tomato peels,” *Food Hydrocoll.*, vol. 77, pp. 557–565, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.FOODHYD.2017.10.034.
- [9] I. Navarro-González, V. García-Valverde, J. García-Alonso, and M. J. Periago, “Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber,” *Food Res. Int.*, vol. 44, no. 5, pp. 1528–1535, Jun. 2011, doi: 10.1016/J.FOODRES.2011.04.005.



AGRADECIMIENTOS



